

発明の名称

磁気ヘッド、ヘッドジンバルアセンブリ、ハードディスク装置及び磁気ヘッドの製造方法

発明の背景

5 発明の技術分野

【0001】 本発明は、磁気ヘッド、ヘッドジンバルアセンブリ、ハードディスク装置及び磁気ヘッドの製造方法に関するものである。

関連技術の説明

10 【0002】 近年、ハードディスク装置の面記録密度が著しく向上している。特に最近では、ハードディスク装置の面記録密度は160～200ギガバイト/プラッタに達し、さらにそれを超える勢いである。これに伴い、薄膜磁気ヘッドの性能向上が求められている。

15 【0003】 磁気ヘッドとしては、書き込み用の誘導型電磁変換素子を有する記録ヘッドと、読み出し用の磁気抵抗効果素子（MR素子）を有する再生ヘッドとを積層した構造の複合型薄膜磁気ヘッドが広く用いられている。

20 【0004】 一般的な記録ヘッドは、記録媒体に対向する側の一部がギャップ層を介して互いに対向する磁極部分を有する上部磁極層及び下部磁極層と、上部磁極層と下部磁極層とを磁氣的に連結する連結部と、上部磁極層及び下部磁極層に対して絶縁された状態で、少なくとも一方の磁極層の回りに螺旋状に巻回された薄膜コイルとを備えている。なお、記録ヘッド（磁気ヘッド）の記録媒体に対向する側の面は、媒体対向面やエアベアリング面と称される。

25 【0005】 ところで、記録ヘッドの性能のうち、記録密度を高めるには、記録媒体におけるトラック密度を上げる必要がある。そのためには、トラック幅、すなわちギャップ層を挟んで対向する2つの磁極部分の媒体対向面での幅を、数ミクロンからサブミクロン寸法まで小さくした狭トラック構造の記録ヘッドを実現する必要がある。このような記録ヘッドを実現するために半導体加工技術が利

用されている。

【0006】 トラック幅を小さくしていくと、ギャップ層を挟んで対向する2つの磁極部分の間における高密度の磁束発生が困難となってくる。そこで、磁極部分の材料には、より高い飽和磁束密度を有する磁束材料を用いることが望まれている。

【0007】 また、記録密度を高めるために記録信号の周波数が高くなってくると、記録ヘッドでは、磁束の変化の速度の向上、すなわちフラックスライズタイムの短縮が求められると共に、高周波帯域において、オーバーライト特性や非線形トランジションシフト (Non-linear Transition Shift) 等の記録特性の劣化が少ないことが求められてくる。なお、高周波帯域における記録特性を向上させるためには、磁路長を短くすることが有効であることが知られている。この磁路長は、主に、下部磁極層又は上部磁極層のうちの、連結部と媒体対向面との間の部分の長さ（本出願においては「ヨーク長」と称す。）によって決まる。従って、磁路長を短くするにはヨーク長を短くすることが有効であり、このヨーク長を短くするには薄膜コイルの巻線のピッチ、特に巻線のうちでも連結部と媒体対向面との間に配置される部分のピッチを小さくすることが有効である。

【0008】 ところで、例えば、米国特許第6, 043, 959号明細書及び米国特許第6, 191, 916 B1号明細書には、薄膜コイルが平面渦巻状をなし、このコイルが連結部の回りに配置されている磁気ヘッドが開示されている。このような構造の磁気ヘッドにおいては、連結部の近傍において多くの磁束が発生する。この磁束は、下部磁極層及び上部磁極層によりヘッドの磁極部分に導かれ、記録用の磁束として用いられる。

【0009】 しかしながら上記構造の磁気ヘッドでは、薄膜コイルにより発生される磁束を効率よく記録用の磁束として用いることができない。すなわち、この構造の磁気ヘッドでは、薄膜コイルにより発生される磁束の数パーセント程度

しか記録用の磁束として用いることができないことが知られている。従って、このような構造を有する磁気ヘッドにおいて、記録用として用いる磁束を増やすには、薄膜コイルのターン数を多くしていた。

5 【0010】 なお、上記米国特許第6, 191, 916 B1号明細書には、薄膜コイルの巻線のピッチを小さくする技術として、第1のコイルの巻線間に第2のコイルの巻線を配置する技術が記載されている。

10 【0011】 一方、米国特許第5, 995, 342号明細書、特開2000-311311号公報及び米国特許第6, 459, 543 B1号明細書には、下部磁極層と上部磁極層の少なくとも一方の回りに螺旋状 (helical) に巻回された薄膜コイルを有する磁気ヘッドが示されている。この磁気ヘッドにおいて、薄膜コイルの一部は、連結部と媒体対向面との間に配置される。この構造の磁気ヘッドでは、薄膜コイルによって発生された磁束が効率よく記録用の磁束として用いられる。従って、この磁気ヘッドでは、平面渦巻状の薄膜コイルを有する磁気ヘッドに比べて、薄膜コイルのターン数を少なくすることができ、その結果、ヨーク長が有意に短縮される。

15 【0012】 前述したように、磁気ヘッドにおける高周波帯域の記録特性を向上させるには、ヨーク長を短くすることが望ましく、そのためには、薄膜コイルの巻線のうち連結部と媒体対向面との間に配置される部分のピッチを小さくすることが有効である。一方で、磁気ヘッドの記録特性の向上には、薄膜コイルのターン数を多くすることも望ましい。

20 【0013】 平面渦巻状の薄膜コイルを有する磁気ヘッド及び螺旋状の薄膜コイルを有する磁気ヘッドのいずれの場合においても、ヨーク長を短くしながら薄膜コイルのターン数を多くするには、薄膜コイルのうちの連結部と媒体対向面との間に配置される部分の幅を小さくせざるを得なかった。この場合、薄膜コイルの抵抗値の増大を招いてしまい、この抵抗値増大に伴う発熱量の増加により、磁極部分が記録媒体に近づくように突出して、磁極部分が記録媒体に衝突する事態

が生じるという問題があった。すなわち、単にコイルの幅を小さくして、ヨーク長の短縮を図ることはあまり望ましくない。

【0014】 なお、通常、薄膜コイルは、フレームめっき法を用いて形成される。このフレームめっき法で用いるフレームは、薄膜コイルにおける隣接するターンの間に配置される壁部分を有する。この壁部分の形状を維持するために、壁部分の幅はある程度大きくなければならない。そのため、薄膜コイルをフレームめっき法を用いて形成する場合、薄膜コイルの接続するターンの間隔を小さくすることが困難であった。

【0015】 また、【特許文献2】に記載された技術を用いれば、平面渦巻状の薄膜コイルにおいて、隣接する巻線間の間隔を小さくすることができる。しかしながら、上記米国特許第6,191,916B1号明細書に記載された磁気ヘッドでは、平面渦巻状の薄膜コイルによって磁束を発生させるため、前述したように、薄膜コイルにより発生される磁束を効率よく記録用の磁束として用いることができない。

15 発明の目的及び概要

【0016】 本発明は、高周波帯域における記録特性の向上が図られた磁気ヘッド、ヘッドジンバルアセンブリ、ハードディスク装置及び磁気ヘッドの製造方法を提供することを目的とする。

【0017】 上記目的を達成するため、本発明に係る磁気ヘッドは、記録媒体に対向する媒体対向面側においてギャップ層を介して互いに対向する磁極部分を有する第1及び第2の磁極層と、第1の磁極層と第2の磁極層とを磁氣的に連結する連結部と、第1及び第2の磁極層に対して絶縁された状態で、第1及び第2の磁極層の少なくとも一方の回りに螺旋状に巻回された薄膜コイルとを備え、薄膜コイルは、第1の磁極層と第2の磁極層との間であって連結部よりも媒体対向面側に位置すると共に、第1又は第2の磁極層と交差する方向に延在し、絶縁膜を介して並列する複数の内側導体部と、内側導体部の延在方向に沿って延在し、

第1又は第2の磁極層における内側導体部が位置する側と反対側に位置する複数の第1の外側導体部と、内側導体部の延在方向に沿って延在し、第1の外側導体部における内側導体部が位置する側と反対側に位置する第2の外側導体部と、対応する内側導体部と第1及び第2の外側導体部とを接続する複数の接続部とを有する。

【0018】 この磁気ヘッドにおいては、薄膜コイルが、第1の磁極層及び第2の磁極層の少なくとも一方の回りに螺旋状に巻回されている。そのためこの磁気ヘッドは、平面渦巻状の薄膜コイルを有する従来の磁気ヘッドに比べて、薄膜コイルにより発生される磁束を効率よく記録用の磁束として用いることが可能である。また、この磁気ヘッドの薄膜コイルは、絶縁膜を介して密に配列された複数の内側導体部と、第1の外側導体部及び第2の外側導体部により構成された外側導体部とを備えている。ここで、第2の外側導体部は第1の外側導体部における内側導体部が位置する側と反対側に位置している。すなわち、本発明に係る磁気ヘッドにおいては、外側導体部が第1の外側導体部と第2の外側導体部の二段構成となっているため、薄膜コイルのターン数が同じであり外側導体部が一段である従来の磁気ヘッドに比べて、外側導体部全体の幅を縮小することができる。従って、この磁気ヘッドによれば、記録用に用いられる磁束を保持したまま、媒体対向面から連結部までの長さを有意に短縮することで可能であり、より高い周波数に対応することができる。

【0019】 また、第1及び第2の外側導体部は、連結部よりも媒体対向面側に位置していることが好ましい。この場合、薄膜コイルにより発生する磁束が、より高効率に記録用の磁束として用いられる。

【0020】 また、連結部の形状は、媒体対向面側に突出する断面形状を有する柱状であり、内側導体部の幅は、連結部の突出部分の先端から媒体対向面の法線方向に沿って該媒体対向面の方向に延びる仮想線上において最小であり、且つ仮想線から離れるに従って増大することが好ましい。この場合、媒体対向面から

連結部までの長さが短縮された状態で、薄膜コイルの発熱を有意に抑制することができる。

5 【0021】 また、複数の内側導体部のうちの隣り合う内側導体部の間隔は、絶縁膜の厚さと略同一であることが好ましい。この場合、内側導体部がより密に配列されるため、媒体対向面から連結部までの長さをより短縮することが可能である。

【0022】 また、複数の第1の外側導体部のうちの隣り合う外側導体部の間隔は、複数の内側導体部のうちの隣り合う内側導体部の間隔よりも広いことが好ましい。この場合、第1の外側導体部の形成を容易におこなうことができる。

10 【0023】 また、第1の外側導体部の最小の幅は、内側導体部の最小の幅よりも大きいことが好ましい。この場合、第1の外側導体部における薄膜コイルの抵抗値が低減される。

15 【0024】 また、接続部の形状は四角形断面を有する柱状であり、複数の接続部のうちの隣り合う接続部は四角形断面の対角線方向に沿う方向に並んでいることが好ましい。この場合、隣り合う接続部同士の間において、材料を積層する際の妨げとなる狭い空隙が形成される事態を有意に回避することができる。

20 【0025】 本発明に係るヘッドジンバルアセンブリは、基台と、基台上に形成された磁気ヘッドと、基台を固定するジンバルと、ジンバルが接続されたロードビームとを備え、磁気ヘッドは、媒体対向面側においてギャップ層を介して互いに対向する磁極部分を有する第1及び第2の磁極層と、第1の磁極層と第2の磁極層とを磁氣的に連結する連結部と、第1及び第2の磁極層に対して絶縁された状態で、第1及び第2の磁極層の少なくとも一方の回りに螺旋状に巻回された薄膜コイルとを有し、薄膜コイルは、第1の磁極層と第2の磁極層との間であって連結部よりも媒体対向面側に位置すると共に、第1又は第2の磁極層と交差する方向に延在し、絶縁膜を介して並列する複数の内側導体部と、内側導体部の延在方向に沿って延在し、第1又は第2の磁極層における内側導体部が位置する側

25

と反対側に位置する第1の外側導体部と、内側導体部の延在方向に沿って延在し、第1の外側導体部における内側導体部が位置する側と反対側に位置する第2の外側導体部と、対応する内側導体部と第1及び第2の外側導体部とを接続する複数の接続部とを含むことを特徴とする。

5 【0026】 このヘッドジンバルアセンブリにおいては、磁気ヘッドの薄膜コイルが、第1の磁極層及び第2の磁極層の少なくとも一方の回りに螺旋状に巻回されている。そのためこの磁気ヘッドは、平面渦巻状の薄膜コイルを有する従来の磁気ヘッドに比べて、薄膜コイルにより発生される磁束を効率よく記録用の磁束として用いることが可能である。また、この磁気ヘッドの薄膜コイルは、絶縁膜を介して密に配列された複数の内側導体部と、第1の外側導体部及び第2の外側導体部により構成された外側導体部とを備えている。ここで、第2の外側導体部は第1の外側導体部における内側導体部が位置する側と反対側に位置している。すなわち、本発明に係る磁気ヘッドにおいては、外側導体部が第1の外側導体部と第2の外側導体部の二段構成となっているため、薄膜コイルのターン数が同じであり外側導体部が一段である従来の磁気ヘッドに比べて、外側導体部全体の幅を縮小することができる。従って、この磁気ヘッドを備えたヘッドジンバルアセンブリによれば、記録用に用いられる磁束を保持したまま、媒体対向面から連結部までの長さを有意に短縮することで可能であり、より高い周波数に対応することができる。

15 20 【0027】 本発明に係るハードディスク装置は、基台と、基台上に形成された磁気ヘッドと、磁気ヘッドと対向する記録媒体とを備え、磁気ヘッドは、媒体対向面側においてギャップ層を介して互いに対向する磁極部分を有する第1及び第2の磁極層と、第1の磁極層と第2の磁極層とを磁氣的に連結する連結部と、第1及び第2の磁極層に対して絶縁された状態で、第1及び第2の磁極層の少なくとも一方の回りに螺旋状に巻回された薄膜コイルとを有し、薄膜コイルは、第25 1の磁極層と第2の磁極層との間であって連結部よりも媒体対向面側に位置する

と共に、第1又は第2の磁極層と交差する方向に延在し、絶縁膜を介して並列する複数の内側導体部と、内側導体部の延在方向に沿って延在し、第1又は第2の磁極層における内側導体部が位置する側と反対側に位置する第1の外側導体部と、内側導体部の延在方向に沿って延在し、第1の外側導体部における内側導体部が位置する側と反対側に位置する第2の外側導体部と、対応する内側導体部と第1及び第2の外側導体部とを接続する複数の接続部とを含むことを特徴とする。

【0028】 このハードディスク装置においては、磁気ヘッドの薄膜コイルが、第1の磁極層及び第2の磁極層の少なくとも一方の回りに螺旋状に巻回されている。そのためこの磁気ヘッドは、平面渦巻状の薄膜コイルを有する従来の磁気ヘッドに比べて、薄膜コイルにより発生される磁束を効率よく記録用の磁束として用いることが可能である。また、この磁気ヘッドの薄膜コイルは、絶縁膜を介して密に配列された複数の内側導体部と、第1の外側導体部及び第2の外側導体部により構成された外側導体部とを備えている。ここで、第2の外側導体部は第1の外側導体部における内側導体部が位置する側と反対側に位置している。すなわち、本発明に係る磁気ヘッドにおいては、外側導体部が第1の外側導体部と第2の外側導体部の二段構成となっているため、薄膜コイルのターン数が同じであり外側導体部が一段である従来の磁気ヘッドに比べて、外側導体部全体の幅を縮小することができる。従って、この磁気ヘッドを備えたハードディスク装置によれば、記録用に用いられる磁束を保持したまま、媒体対向面から連結部までの長さを有意に短縮することで可能であり、より高い周波数に対応することができる。

【0029】 本発明に係る磁気ヘッドの製造方法は、媒体対向面側においてギャップ層を介して互いに対向する磁極部分を有する第1及び第2の磁極層と、第1の磁極層と第2の磁極層とを磁氣的に連結する連結部と、第1及び第2の磁極層に対して絶縁された状態で、第1及び第2の磁極層の少なくとも一方の回りに螺旋状に巻回された薄膜コイルとを備える磁気ヘッドの作製に適用され、第1の

磁極層を形成するステップと、第1の磁極層上にギャップ層を形成するステップと、ギャップ層上に第2の磁極層を形成するステップと、連結部を形成するステップと、薄膜コイルを形成するステップとを備え、薄膜コイルを形成するステップには、薄膜コイルを構成する、第1の磁極層と第2の磁極層との間であって連結部よりも媒体対向面側に位置すると共に、第1又は第2の磁極層と交差する方向に延在し、絶縁膜を介して並列する複数の内側導体部と、内側導体部の延在方向に沿って延在し、第1又は第2の磁極層における内側導体部が位置する側と反対側に位置する第1の外側導体部と、内側導体部の延在方向に沿って延在し、第1の外側導体部における内側導体部が位置する側と反対側に位置する第2の外側導体部と、対応する内側導体部と第1及び第2の外側導体部とを接続する複数の接続部と、を形成する各ステップが含まれていることを特徴とする。

【0030】 この磁気ヘッドの製造方法においては、第1の磁極層及び第2の磁極層の少なくとも一方の回りに螺旋状に巻回された薄膜コイルが形成される。そのため作製される磁気ヘッドは、平面渦巻状の薄膜コイルを有する従来の磁気ヘッドに比べて、薄膜コイルにより発生される磁束を効率よく記録用の磁束として用いることが可能である。この薄膜コイルは、絶縁膜を介して密に配列された複数の内側導体部と、第1の外側導体部及び第2の外側導体部により構成された外側導体部とを形成することにより形成される。ここで、第2の外側導体部は第1の外側導体部における内側導体部が位置する側と反対側に位置している。すなわち、本発明に係る磁気ヘッドの製造方法においては、第1の外側導体部と第2の外側導体部の二段構成となっている外側導体部を形成するため、薄膜コイルのターン数が同じであり外側導体部が一段である従来の磁気ヘッドに比べて、外側導体部全体の幅が縮小している磁気ヘッドを作製することができる。従って、この磁気ヘッドの製造方法によれば、記録用に用いられる磁束を保持したまま、磁気ヘッドの媒体対向面から連結部までの長さを有意に短縮することで可能であり、より高い周波数に対応することができる磁気ヘッドが作製される。なお、本発

明に係る磁気ヘッドの製造方法における各ステップの順序は、上で記載した順序に限定されず、適宜、変更することが可能であり、また必要に応じて複数のステップを同時におこなってもよい。

【0031】 また、第1及び第2の外側導体部が連結部よりも媒体対向面側に位置することが好ましい。この場合、薄膜コイルにより発生する磁束が、より高効率に記録用の磁束として用いられる。

図面の簡単な説明

【0032】 図1は、本実施形態に係る薄膜磁気ヘッドを備えたハードディスク装置を示した概略斜視図である。

【0033】 図2は、ヘッドスライダの拡大斜視図である。

【0034】 図3は、本発明の第1の実施の形態に係る薄膜磁気ヘッドの主要部を示す分解斜視図である。

【0035】 図4は、薄膜コイルを構成する第1の導体群および接続部群を示す平面図である。

【0036】 図5は、薄膜コイルを構成する第1の外側導体部を示す平面図である。

【0037】 図6は、薄膜コイルを構成する第2の外側導体部を示す平面図である。

【0038】 図7は図4の $\alpha-\alpha$ 線断面図である。

【0039】 図8Aおよび図8Bは、薄膜磁気ヘッドを製造する過程の一工程を示す断面図である。

【0040】 図9Aおよび図9Bは、それぞれ図8の後続の工程を示す断面図である。

【0041】 図10Aおよび図10Bは、それぞれ図9の後続の工程を示す断面図である。

【0042】 図11Aおよび図11Bは、それぞれ図10の後続の工程を示す

断面図である。

【0043】 図12Aおよび図12Bは、それぞれ図11の後続の工程を示す断面図である。

5

【0044】 図13Aおよび図13Bは、それぞれ図12の後続の工程を示す断面図である。

【0045】 図14Aおよび図14Bは、それぞれ図13の後続の工程を示す断面図である。

【0046】 図15Aおよび図15Bは、それぞれ図14の後続の工程を示す断面図である。

10

【0047】 図16Aおよび図16Bは、それぞれ図15の後続の工程を示す断面図である。

【0048】 図17Aおよび図17Bは、それぞれ図16の後続の工程を示す断面図である。

15

【0049】 図18Aおよび図18Bは、それぞれ図17の後続の工程を示す断面図である。

【0050】 図19Aおよび図19Bは、それぞれ図18の後続の工程を示す断面図である。

【0051】 図20Aおよび図20Bは、それぞれ図19の後続の工程を示す断面図である。

20

【0052】 図21Aおよび図21Bは、それぞれ図20の後続の工程を示す断面図である。

【0053】 図22Aおよび図22Bは、それぞれ図21の後続の工程を示す断面図である。

25

【0054】 図23Aおよび図23Bは、それぞれ図22の後続の工程を示す断面図である。

【0055】 図24Aおよび図24Bは、それぞれ図23の後続の工程を示す

断面図である。

【0056】 図25Aおよび図25Bは、それぞれ図24の後続の工程を示す断面図である。

5 【0057】 図26は、変形例に係る薄膜コイルのうち、第1の導体群及び各接続部を示す平面図である。

【0058】 図27は、変形例に係る薄膜コイルの第2の導体群のうち、第1の外側導体部を示す平面図である。

【0059】 図28は、第2の導体群のうち、第2の外側導体部を示す平面図である。

10 【0060】 図29は、図26の $\beta-\beta$ 線断面図である。

【0061】 図30Aおよび図30Bは、第2の実施の形態における薄膜磁気ヘッドを製造する過程の一工程を示す断面図である。

【0062】 図31Aおよび図31Bはそれぞれ図30の後続の工程を示す断面図である。

15 【0063】 図32Aおよび図32Bはそれぞれ図31の後続の工程を示す断面図である。

好適な実施の形態の詳細な説明

20 【0064】 以下、本発明の実施の形態について添付図面を参照して詳細に説明する。なお、同一又は同等の要素については同一の符号を付し、説明が重複する場合にはその説明を省略する。

〔第1の実施形態〕

25 【0065】 図1は、本実施形態に係る薄膜磁気ヘッドを備えたハードディスク装置を示した概略斜視図である。ハードディスク装置10は、ヘッドジンバルアセンブリ(HGA: Head Gimbals Assembly)12を作動させて、高速回転するハードディスク(記録媒体)14の記録面(図1の上面)に、薄膜磁気ヘッド16によって磁気情報を記録及び再生するものである。ヘッドジンバルアセン

ブリ 12 は、薄膜磁気ヘッド 16 が形成されたヘッドスライダ 18 を搭載したジンバル 20 と、これが接続されたサスペンションアーム（ロードビーム） 22 とを備え、支軸 24 周りに例えばボイスコイルモータによって回転可能となっている。ヘッドジンバルアセンブリ 12 を回転させると、ヘッドスライダ 18 は、ハードディスク 14 の半径方向、すなわちトラックラインを横切る方向に移動する。

【0066】 図 2 は、ヘッドスライダ 18 の拡大斜視図である。ヘッドスライダ 18 は、略直方体形状を有し、アルティック ($Al_2O_3 \cdot TiC$) を主とする基台 18a 上に、薄膜磁気ヘッド 16 が形成されている。同図における手前側の面は、ハードディスク 14 の記録面に対向する記録媒体対向面であり、エアベアリング面 (ABS: Air Bearing Surface) S と称される。ハードディスク 14 が回転する際、この回転に伴う空気流によってヘッドスライダ 18 が浮上し、エアベアリング面 S はハードディスク 14 の記録面から離隔する。薄膜磁気ヘッド 16 には、薄膜磁気ヘッド 16 を保護するために、図中破線で示したオーバコート層 26 (詳しくは後述) が設けられている。オーバコート層 26 上には、記録用パッド 28a、28b 及び再生用パッド 28c、28d が取り付けられており、図 1 に示したサスペンションアーム 22 には、各パッドに接続される、電気信号の入出力用の配線 (図示省略) が取り付けられている。尚、エアベアリング面 S に、DLC (Diamond Like Carbon) 等のコーティングを施してもよい。

(薄膜磁気ヘッド)

【0067】 次に、図 3～図 7 を参照しつつ、薄膜磁気ヘッド 16 について説明する。

【0068】 本実施形態に係る薄膜磁気ヘッド 16 は、基板 31 と、基板 31 上に積層された再生ヘッド及び記録ヘッド (誘導型電磁変換素子) とを有し、ハードディスク 14 に対向するエアベアリング面 S とを有している。なお、以下では、薄膜磁気ヘッド 16 の主要部の構造について説明し、薄膜磁気ヘッドの構造

のその他の部分の構造については、後述する製造工程の中で説明する。

5 【0069】 再生ヘッドは、エアベアリング面Sの近傍に配置された磁気的信号検出用のMR素子35を有している。また、再生ヘッドはエアベアリング面S側においてMR素子35を挟んで対向するように配置され、MR素子35をシールドしている下部シールド層33及び上部シールド層38を有し、さらに、MR素子35と下部シールド層33との間に配置された下部シールドギャップ膜34と、MR素子35と上部シールド層38との間に配置された上部シールドギャップ膜37とを有している。

10 【0070】 記録ヘッドは、下部磁極層（第1の磁極層）40、上部磁極層（第2の磁極層）55、記録ギャップ層（ギャップ層）54及び薄膜コイル110を有し、これらが基板31上に積層された構成を有している。下部磁極層40及び上部磁極層55は、エアベアリング面Sの側で互いに対向する磁極部分（対向磁極部）を有し、後述する連結部61において互いに磁気的に連結されている。記録ギャップ層54は、下部磁極層40の対向磁極部と上部磁極層55の対向磁極部との間に形成されている。薄膜コイル110は、下部磁極層40及び上部磁極層55に対して絶縁された状態で、上部磁極層55の回りに螺旋状に巻回されている。

15 20 【0071】 下部磁極層40は、図7に示すように、第1の磁極部40aと、第2の磁極部40bと、第3の磁極部40cとを有し、第4の磁極部40dと、第5の磁極部40eと、第6の磁極部40f及び第7の磁極部40gを有している。

25 【0072】 第1の磁極部40aは、薄膜コイル110の第1の導体群116に対向する位置に配置されている。第2の磁極部40bは、エアベアリング面Sの近傍において、第1の磁極部40aよりも上部磁極層55側に突出するようにして、第1の磁極部40aに接続されている。第3の磁極部40cは、後述する第1の導体群116、第2の導体群120の一部を挟んでエアベアリング面Sか

ら離れた位置において、第1の磁極部40aよりも上部磁極層55側に突出するようにして、第1の磁極部40aに接続されている。この第3の磁極部40cは図4に示すように、柱部62aと、柱部62aからエアベアリング面S側に向かって突出する突出部62bとを有し、突出部62bは円柱の一部をなす曲面（円柱状曲面）を有している。柱部62aは、断面形状が長方形の柱状に形成されている。

【0073】 第3の磁極部40c、第5の磁極部40e及び第7の磁極部40gは上部磁極層55と下部磁極層40とを磁氣的に連結する連結部61を構成している（図7A参照）。また、第6の磁極部40fのうち、記録ギャップ層54を挟んで後述するトラック幅規定部55Aと対向する部分が、本発明における対向磁極部となっている。

【0074】 また、下部磁極層40と上部磁極層55は、図7Bに示すように、トリム構造を有している。このトリム構造により、狭トラックの書込み時に発生する磁束の広がりによる実効的な記録トラック幅の増加が防止されるようになっている。

【0075】 上部磁極層55は、図3に示すように、記録ギャップ層54に接する第1の磁極部55aと、第1の磁極部55aの上に配置された第2の磁極部55bとを有している。また、上部磁極層55は、トラック幅規定部55Aと、ヨーク部55Bとを有している。トラック幅規定部55Aは、本発明における対向磁極部であって、記録トラック幅を規定する。また、トラック幅規定部55Aは、エアベアリング面Sに配置される端部を有し、この端部からヨーク部55Bにつながる腕部を有している。ヨーク部55Bは、一定の幅を有する定幅部と、定幅部からトラック幅規定部55Aに近づくにしたがい、漸次幅が狭まる先細部とを有している。

【0076】 薄膜コイル110は、第1の導体群116と、第2の導体群120と、接続部群130とを有し、これらがつながることによって一連の5ターン

ループを形成し、上部磁極層 5 5 の回りに螺旋状に巻回されている。

【0077】 図 3、図 4 及び図 7 A に示すように、第 1 の導体群（複数の内側導体部）1 1 6 は、下部磁極層 4 0 と上部磁極層 5 5 との間に配置された第 1 の内側導体部 1 1 2、1 1 4 と、第 2 の内側導体部 1 1 1、1 1 3、1 1 5 とを有している。第 1 の導体群 1 1 6 は、各内側導体部 1 1 1 ~ 1 1 5 の互いに隣り合うもの同士が後述する分離用絶縁膜 4 5 を介して接触する絶縁接触構造を有し、第 1 の磁極部 4 0 a における絶縁膜 4 1 が配置された領域に設けられている。また、内側導体部 1 1 1 が第 2 の磁極部 4 0 b に分離用絶縁膜 4 5 を介して接触し、内側導体部 1 1 5 が第 3 の磁極部 4 0 c に分離用絶縁膜 4 5 を介して接触している（図 3 及び図 7 A 参照）。

【0078】 図 4 に示すように、各内側導体部 1 1 1 ~ 1 1 5 はそれぞれ、矩形状端部 1 1 1 a ~ 1 1 5 a と、矩形状端部 1 1 1 b ~ 1 1 5 b とを有しており、対応する端部同士のエアベアリング面 S までの距離は略同じとなっている。そして、これらの両端部間における各内部導体部 1 1 1 ~ 1 1 5 は、略アーチ状となるようにエアベアリング面 S 方向に突出していると共に、上部磁極層 5 5 に対応する部分においては上部磁極層 5 5 と交差する方向（図 4 ~ 図 6 における Y 方向）に並列している。さらに、両端部間における各内部導体部 1 1 1 ~ 1 1 5 は、エアベアリング面 S に交差する方向（図 4 ~ 図 6 における X 方向）の配置密度が変化する密度変化構造となっている。つまり内側導体部 1 1 1 ~ 1 1 5 は、図に示した仮想線 8 0 の長さと同じ幅 W 1 の領域に配置されている個数（配置数）が、上部磁極層 5 5 の外側から上部磁極層 5 5 に向かい 1 本から 5 本まで順次増加している。ここで、仮想線 8 0 は、エアベアリング面 S の法線方向（X 方向）に沿って突出部 6 2 b の先端からエアベアリング面 S まで延びる仮想的な直線である。これにより、第 1 の導体群 1 1 6 は、上部磁極層 5 5 に近づくにしたがい内側導体部 1 1 1 ~ 1 1 5 が次第に密集し、巻線ピッチが小さくなるようになっている。

【0079】 また、内側導体部111～115は、上部磁極層55に対応する部分からその外側に向かって、それぞれの電流に交差する方向の幅（経路幅）が漸次広がる可変幅構造を有し、第3の磁極部40cの突出部62bに対応した箇所に、その経路幅が最も狭い最狭部を有している。すなわち、内側導体部111～115の経路幅は、連結部61の突出部62bの先端からエアベアリング面Sの法線方向に沿って該エアベアリング面Sの方向に延びる仮想線80上において最小であり、且つ仮想線80から離れるに従って増大している（図4参照）。

【0080】 分離用絶縁膜45は、厚さが第1の導体群116の底部と下部磁極層40との間の最短距離以下に形成されている。つまり、図7Aに示すように、第1の導体群116と下部磁極層40との間の最短距離は、内側導体部112、114の底部と下部磁極層40との間に介在している絶縁膜41の厚さと等しく、分離用絶縁膜45の厚さが絶縁膜41の厚さ以下になっている。

【0081】 一方、第2の導体群120は、図3、図5及び図6に示すように二段構成となっており、第2の導体群120は下段の第1の外側導体部121、122、123と、上段の第2の外側導体部124、125とを有している。すなわち、第1の外側導体部121、122、123は、上部磁極層55における第1の導体群116が位置する側と反対側に位置しており、第2の外側導体部124、125は、これら第1の外側導体部121、122、123における第1の導体群116が位置する側と反対側に位置している。そして、第1の外側導体部121、122、123と第2の外側導体部124、125は、いずれも上部磁極層55の外側（上方）に配置されている。

【0082】 第2の導体群120のうち、第1の外側導体部121、122、123はそれぞれ、矩形状端部121a、122a、123aと、矩形状端部121b、122b、123bとを有している。そして、これらの両端部間における各導体部121、122、123は、第1の導体群116と同様、略アーチ状となるようにエアベアリング面S方向に突出していると共に、上部磁極層55に

対応する部分においては上部磁極層 5 5 と交差する方向（図 4 ～ 図 6 における Y 方向）に並列している。また、第 1 の外側導体部 1 2 1, 1 2 2, 1 2 3 は、エアベアリング面 S に交差する方向の配置密度が変化する密度変化構造を有している。さらに、第 1 の外側導体部 1 2 1, 1 2 2, 1 2 3 も、上部磁極層 5 5 に対応する部分からその外側に向かって、それぞれの経路幅が次第に広がる可変幅構造を有し、第 3 の磁極部 4 0 c の突出部 6 2 b に対応した箇所に、その経路幅が最も狭い最狭部を有している。

【0083】 一方、第 2 の外側導体部 1 2 4, 1 2 5 は、第 1 の外側導体部 1 2 1, 1 2 2, 1 2 3 の上方において、上部磁極層 5 5 と交差する方向（図 4 ～ 図 6 における Y 方向）に並列している。そして、第 2 の外側導体部 1 2 5 は、両端に矩形状端部 1 2 5 a 及び矩形状端部 1 2 5 b を有しており、第 2 の外側導体部 1 2 4 は一端が矩形状端部 1 2 4 b を有している。なお、本実施形態においては、第 2 の外側導体部 1 2 4, 1 2 5 は一定の幅を有する等幅構造を有しているが、適宜、第 1 の外側導体部 1 2 1, 1 2 2, 1 2 3 と同様の可変幅構造に変更してもよい。

【0084】 次に、接続部群 1 3 0 について説明する。

【0085】 接続部群 1 3 0 は、複数の接続部 1 3 1 ～ 1 4 0 を有しており、四角形断面を有する柱状の形状を有している。これら接続部 1 3 1 ～ 1 4 0 は、各内側導体部 1 1 1 ～ 1 1 5 と各外側導体部 1 2 1 ～ 1 2 5 とを接続するように、以下のようにして設けられている。

【0086】 すなわち接続部 1 3 1, 1 3 3, 1 3 5, 1 3 7, 1 3 9 は、それぞれ、内側導体部 1 1 1 ～ 1 1 5 の矩形状端部 1 1 1 a ～ 1 1 5 a と、外側導体部 1 2 1 ～ 1 2 5 の矩形状端部 1 2 1 b ～ 1 2 5 b とを接続するように設けられている。また接続部 1 3 2, 1 3 4, 1 3 6, 1 3 8 は、それぞれ、内側導体部 1 1 1 ～ 1 1 4 の矩形状端部 1 1 1 b ～ 1 1 4 b と、外側導体部 1 2 1, 1 2 2, 1 2 3, 1 2 5 の矩形状端部 1 2 1 a, 1 2 2 a, 1 2 3 a, 1 2 5 a とを

接続するように設けられている。さらに、接続部140は、内側導体部115の矩形状端部115bとリード層126とを接続するように設けられている。

【0087】 そして、薄膜コイル110は、外側導体部124から接続部131を介して内側導体部111へとつながり、さらに、内側導体部111から接続部132を介して外側導体部125へとつながり、これによって、1ターンのループを形成している。以下同様にして4ターンのループが形成されることによって、薄膜コイル110が全体で一連の螺旋状ループを形成している。その後、薄膜コイル110はリード層126から図示しない外部の電極パッドに接続されている（第2の外側導体部124にも図示しない電極パッドが接続されている）。

【0088】 以上のように、薄膜磁気ヘッド16では、薄膜コイル110が上部磁極層55の回りに螺旋状に巻回されているため、平面渦巻状の薄膜コイルを有する従来の磁気ヘッドに比べて、薄膜コイル110により発生される磁束を効率よく記録用の磁束として用いることが可能である。従って、薄膜磁気ヘッド16は、従来の磁気ヘッドに比べて薄膜コイル110のターン数を少なくすることができ、ヨーク長（すなわち、媒体対向面Sから連結部61までの長さ）を短縮することができる。しかも、薄膜磁気ヘッド16は、平面渦巻き状の薄膜コイルを有する薄膜磁気ヘッドに比べて、薄膜コイル110の配置されている領域を小さくすることができるから、小型化が可能である。

【0089】 また、薄膜コイル110は、第1の導体群116を構成する各内側導体部111～115が絶縁膜（分離用絶縁膜45）を介して接触する絶縁接触構造を有している。そのため各内側導体部111～115は、それぞれ互いに隣り合うもの同士の間には絶縁膜のみが介在し、それぞれの間隔がその絶縁膜（分離用絶縁膜45）の厚さに等しくなっている。よって、各内側導体部111～115は、隣り合うもの同士の間隙がほとんどなく密集して高密に配置されており、ヨーク長の短縮化が図られている。したがって、各内側導体部の経路幅をあまり狭めなくても、ヨーク長を短縮することができる。換言すると、第3の磁

極部 40 c. (の突出部 62 b) とエアベアリング面 S との間の最短距離、すなわち、仮想線 80 の長さがヨーク長になるため、第 1 の導体群 116 が上述の高密配置を有していることによりヨーク長の短縮化が図られている。また、各内側導体部の経路幅をあまり狭めなくてもよいので、電流の流れを妨げることが少なく、

5 したがって、抵抗値の上昇が抑制されている。

【0090】 さらに磁気ヘッド 16 においては、第 2 の導体群 (外側導体部) 120 が第 1 の外側導体部 121, 122, 123 と第 2 の外側導体部 124, 125 の二段構成となっているため、薄膜コイルのターン数が同じであり外側導体部が一段である従来の磁気ヘッドに比べて、第 2 の導体群 120 全体の幅 W2

10 (図 7 参照) を縮小することができる。従って、この磁気ヘッド 16 によれば、記録用に用いられる磁束を保持したまま、ヨーク長を有意に短縮することで可能であり、より高い周波数に対応することができる。

【0091】 また第 2 の導体群 120 が、上部磁極層 55 と下部磁極層 40 とを磁氣的に連結する連結部 61 よりもエアベアリング面 (媒体対向面) S 側に位置しているため、薄膜コイル 110 により発生する磁束が、より高効率に記録用の磁束として用いられる。しかも、薄膜コイル 110 における密度変化構造を有する部分、すなわち、内側導体部 111 ~ 115 及び第 1 の外側導体部 121, 122, 123 の可変幅構造がエアベアリング面 S のごく近傍に配置されるので、薄膜コイル 110 から発生する磁束が効率的に記録に用いられる。

20 【0092】 さらに、上述したように内側導体部 116 の経路幅は、仮想線 80 (図 4 参照) 上において最小であり、且つ仮想線 80 から離れるに従って増大しているため、ヨーク長が短縮された状態で、薄膜コイル 110 の発熱を有意に抑制することができる。

25 【0093】 しかも、第 1 の導体群 116 の両側に位置する内側導体部 111, 115 が分離用絶縁膜 45 のみを介して第 3 の磁極部 40 c、第 2 の磁極部 40 b に接触しており、このことがヨーク長の一層の短縮化に寄与している。

【0094】 そして、薄膜コイル110は、内側導体部111～115と第1の外側導体部121、122、123とに密度変化構造を有している。そのため、幅W1を狭めてヨーク長を短縮しても、仮想線80上に巻線が確保され、薄膜コイル110のターン数が確保されるようになっている。したがって、薄膜磁気ヘッド16は、ターン数を確保しながらヨーク長を短縮することが可能である。これにより、高周波帯域における記録特性に優れた薄膜磁気ヘッドが実現される。

【0095】 また、内側導体部111～115及び第1の外側導体部121、122、123は、上述のような可変幅構造を有しているため、電流の流れを妨げることが少なく、抵抗値の上昇を抑制することができる。したがって、薄膜磁気ヘッド16は、薄膜コイル110による熱の発生を効果的に抑制することができる。また、第3の磁極部40cが突出部62bを有しているから、その突出部62bに対応して各内側導体部111～115及び第1の外側導体部121、122、123の幅が変化している。そして、各内側導体部111～115及び第1の外側導体部121、122、123は、突出部62bに対応した箇所に最狭部を有しているから、経路幅が狭くなる範囲が極力小さくなっている。よって、より一層電流が流れやすくなり、抵抗値の上昇が抑制されるようになっている。

【0096】 また図4に示すように、内側導体部111～115と外側導体部121～125とを接続する各接続部130において、隣り合う接続部は四角形断面の対角線方向に沿う方向に並んでいる。そのため、隣り合う接続部同士の間

に狭い空隙が形成されず、後述する接続部の形成工程において接続部の材料を所定の位置に高い精度で積層することができる。

【0097】 そして、詳しくは後述するが、分離用絶縁膜45はCVD法によって形成される複数の薄いアルミナ膜が積層されてなっているから、緻密な膜である。そのため、仮想線80上に配置される第2の磁極部40bから、第1の導体群116及び第3の磁極部40cまでのそれぞれについて、相互の間隔を極めて小さくしながら確実に絶縁することができる。

【0098】 また、隣り合う第1の外側導体部121, 122, 123の間隔は、隣り合う内側導体部111~115の間隔よりも広がっている。そのため、詳しくは後述するが、CVD法を用いることなく、メッキ法等の簡易な方法で第1の外側導体部121, 122, 123を容易に形成することができる。

5 【0099】 さらに、第1の外側導体部121, 122, 123の最小の幅は、内側導体部111, 112, 113, 114, 115の最小の幅よりも大きくなっており、第1の外側導体部121, 122, 123における薄膜コイル110の抵抗値が低減される。すなわち、第2の導体群120は、二段構成となっているおかげで一つの段に形成する導体部の数を、内側導体部の数よりも少なくすることができ、外側導体部は内側導体部よりも幅広に形成することが可能である。

10 【0100】 後述するように、第2の磁極部40b、第4の磁極部40d、第6の磁極部40f及び上部磁極層55の材料として、高飽和磁束密度材料を用いることができ、それにより磁路の途中で磁束の飽和を防止することができる。その結果、薄膜コイル110で発生した起磁力を効率よく記録に用いることができる。

15 【0101】 ところで、例えば上述した特許文献1に記載されているように、上部磁極層が幅の小さな磁極部分層と、その上面に接続された幅の大きなヨーク部分層と含む薄膜磁気ヘッドでは、特に記録トラック幅が小さくなったときに以下のような問題が生じる。すなわち、まず、この種の薄膜磁気ヘッドでは、磁極部分層とヨーク部分層との接続部分で磁路の断面積が急激に減少するため、この部分で磁束の飽和が生じ、ヨーク部分層から磁極部分層へ磁束が十分に伝達されないおそれがある。そのため、この薄膜磁気ヘッドではオーバーライト特性が劣化するおそれがある。

20 【0102】 また、上部磁極層が磁極部分層とヨーク部分層とを含む上記薄膜磁気ヘッドでは、ヨーク部分層から記録媒体に向けて磁束が漏れ、幅の大きなヨ

ーク部分層によって、記録媒体に対して、データを記録すべき領域以外の領域にデータを書き込んでしまう、いわゆるサイドライトや、データを消去すべきでない領域のデータを消去してしまう、いわゆるサイドイレースが発生するおそれがある。いずれの場合にも、実効トラック幅が所望のトラック幅よりも大きくなってしまう。また、磁極部分層とヨーク部分層との位置関係は、フォトリソグラフィにおけるアライメントによって決定されるため、所望の位置関係からずれるときもある。そうなると、サイドライトやサイドイレースが顕著に発生してしまう。

【0103】 これに対し、上述した薄膜磁気ヘッド16では、トラック幅を規定する上部磁極層55は平坦な層になっているので、磁極部分層とヨーク部分層との接続部分における磁束の飽和は発生しない。したがって、本実施の形態によれば、オーバーライト特性の劣化や、上述のようなサイドライトやサイドイレースが発生することはない。

【0104】 また、薄膜磁気ヘッド16は、平坦な下地の上に平坦な上部磁極層55を形成しているから、上部磁極層55のトラック幅規定部55Aを微細にかつ精度よく形成することができる。これにより、例えば従来は薄膜磁気ヘッドを量産するときには困難とされた $0.2\mu\text{m}$ 以下のトラック幅を実現することが可能になる。

(薄膜磁気ヘッドの製造方法)

【0105】 次に、上述の図3～図7とともに、図8～図25を参照して、上述の構造を有する第1の実施の形態に係る薄膜磁気ヘッドの製造方法について説明する。

【0106】 ここで、図8A～図25Aは、図4の $\alpha-\alpha$ 線に対応する各製造工程における断面を示している。図8B～図25Bは、対向磁極部のエアベアリング面Sに平行な断面を示している。

【0107】 本実施の形態に係る製造方法では、まず、図8A及び図8Bに示すように、例えばアルミニウムオキサイド・チタニウムカーバイド(Al_2O

3・TiC)よりなる基板31の上に、例えばアルミナ(Al_2O_3)よりなる絶縁層32を約2~5 μm の厚さで堆積する。次に、絶縁層32の上に、磁性材料(例えばパーマロイ)よりなる再生ヘッド用の下部シールド層33を約2~3 μm の厚さで堆積する。下部シールド層33は、例えば、フォトレジスト膜をマスクにして、めっき法によって絶縁層32の上に選択的に形成する。次に、図示しないが、全体に、例えばアルミナよりなる絶縁層を例えば約3~4 μm の厚さで形成し、その絶縁層を下部シールド層33が露出するまで、例えば化学機械研磨(以下「CMP」という)により研磨して、表面の平坦化処理を行う。

【0108】 次に、下部シールド層33の上に、絶縁膜としての下部シールドギャップ膜34を例えば、約20~40nmの厚さで形成する。そして、下部シールドギャップ膜34の上に、MR素子35を数十nmの厚みで形成する。このMR素子35は、例えばスパッタによって形成したMR膜を選択的にエッチングすることによって形成する。また、MR素子35はエアベアリング面が形成される位置の近傍に配置する。なお、MR素子35には、AMR素子、GMR素子、あるいはTMR(トンネル磁気抵抗効果)素子等の磁気抵抗効果を示す感磁膜を用いた素子を用いることができる。

【0109】 次に、図示しないが、下部シールドギャップ膜34の上に、MR素子35に電氣的に接続される一对の電極層を数十nmの厚さで形成する。さらに、下部シールドギャップ膜34及びMR素子35の上に、絶縁膜としての上部シールドギャップ膜37を例えば約20~40nmの厚さで形成し、MR素子35を下部シールドギャップ膜34と上部シールドギャップ膜37の中に埋設する(なお、図示の都合上、下部シールドギャップ膜34と上部シールドギャップ膜37の境界の表示を省略している)。下部シールドギャップ膜34と上部シールドギャップ膜37に使用する絶縁材料としては、アルミナ、窒化アルミニウム、ダイヤモンドライクカーボン(DLC)等がある。また、下部シールドギャップ膜34と上部シールドギャップ膜37は、スパッタ法により形成してもよいし、

化学的気相成長法（以下「CVD法」という）により形成してもよい。

【0110】 次に、上部シールドギャップ膜37の上に、磁性材料よりなる再生ヘッド用の上部シールド層38を約1.0～1.5 μ mの厚さで選択的に形成する。そして、ここまでの工程で得られた積層体の上面全体の上に、例えばアルミナよりなる絶縁層39を例えば0.3 μ mの厚さで形成する。さらに、絶縁層39の上に、本発明における第1の磁極層として、下部磁極層40を構成する第1の磁極部40aを例えば0.6 μ mの厚さで形成する。

【0111】 この場合、第1の磁極部40aは、高飽和磁束密度材料であるFeAlN, FeN, FeCo, CoFeN, FeZrN等を材料に用い、スパッタ法で形成する。なお、第1の磁極部40aは、材料としてNiFe (Ni: 80重量%、Fe: 20重量%) や、高飽和磁束密度材料であるNiFe (Ni: 45重量%、Fe: 55重量%) 等を材料に用い、めっき法によって形成してもよい。ここでは、一例として、飽和磁束密度が2.4TのCoFeNを用いて、スパッタ法で形成する場合を想定している。

【0112】 次に、第1の磁極部40aの上に、例えばアルミナよりなる絶縁膜41を例えば0.2 μ mの厚さで形成する。続いて、その絶縁膜41を選択的にエッチングして、第2の磁極部40bと第3の磁極部40cを形成すべき位置において、絶縁膜41に開口部を設ける。

【0113】 そして、図示しないが、第1の磁極部40a及び絶縁膜41を覆うように、例えばスパッタ法により、導電性材料よりなる電極膜を約50～80nmの厚さで形成する。この電極膜はめっきの際の電極及びシード層として機能する。

【0114】 さらに、図示しないが、電極膜の上にフォトリソグラフィによって、フレームを形成する。このフレームは、薄膜コイル110を構成する第1の内側導体部112, 114をフレームめっき法によって設けるために形成する。

【0115】 次に、図9A及び図9Bに示すように、電極膜を用いて電気めっ

5
きを行い、例えばCu（銅）よりなるめっき層を形成する。このめっき層及びその下の図示しない電極膜が第1の内側導体部112、114を構成する。第1の内側導体部112、114の厚さは例えば3.0～3.5 μ mである。なお、このめっき層を形成するときに、各矩形状端部（図では、矩形状端部114bを表示）も形成されている。次に、フレームを除去した後、電極膜について、第1の内側導体部112、114（それぞれの矩形状端部を含む）の下に存在する部分を残し、その他の部分を例えばイオンビームエッチングにより除去する。

10
【0116】 そして、図示しないが、フォトリソグラフィによって、第1の磁極部40a及び絶縁膜41の上にフレームを形成する。このフレームは第2の磁極部40b及び第3の磁極部40cをフレームめっき法によって設けるために形成する。

15
【0117】 続いて、図10A及び図10Bに示すように、電気めっきを行い、第1の磁極部40aの上に、本発明における第2の磁極層として、ヨーク長を決める位置に配置された第3の磁極部40cとともに、第2の磁極部40bをそれぞれ磁性材料を用いて、例えば3.3～3.8 μ mの厚さで形成する。第2の磁極部40b及び第3の磁極部40cの材料としては、例えば高飽和磁束密度材料が用いられる。例えば、飽和磁束密度が2.1TのCoNiFeや、飽和磁束密度が2.3TのFeCo_xを用いることができる。本実施の形態では、第2の磁極部40b及び第3の磁極部40cを電気めっきによって形成する際に、特別な電極膜を設けることなく、パターニングされていない第1の磁極部40aをめっき用の電極及びシード層として用いる。

20
25
【0118】 さらに、図11A及び図11Bに示すように、第1の内側導体部112、114、第2の磁極部40b及び第3の磁極部40cを覆うようにフォトレジスト42を形成する。次に、フォトレジスト42をマスクにして、例えばイオンビームエッチングにより、第1の磁極部40aを選択的にエッチングして、第1の磁極部40aのパターニングを行う。

【0119】そして、フォトリジスト42を除去した後、図12A及び図12Bに示すように第2の内側導体部111、113、115を設けるべき位置に、第1の内側導体部112、114の保護用フォトリジスト43を配置する。保護用フォトリジスト43は、少なくとも第2の磁極部40bと内側導体部112との間、内側導体部112と内側導体部114の間及び内側導体部114と第3の磁極部40cとの間に充填されるように形成する。さらに、形成された積層体の上面全体を覆うように、例えばアルミナよりなる絶縁層44を4~6 μ mの厚みで形成する。続いて、保護用フォトリジスト43が露出するまで、例えばCMPによって絶縁層44を研磨する。

【0120】そして、図13A及び図13Bに示すように、フォトリジスト43を除去した後、例えばCVD法によって、積層体の上面全体を覆うように、各内側導体部を分離するための、例えばアルミナよりなる分離用絶縁膜45を形成する。これにより、第2の磁極部40bと内側導体部112との間、内側導体部112と内側導体部114の間及び内側導体部114と第3の磁極部40cとの間に、それぞれ分離用絶縁膜45で覆われた内溝部が複数形成される。なお、分離用絶縁膜45の厚さは絶縁膜41の厚さ以下である。よって、分離用絶縁膜45の厚さは0.2 μ m以下とするのが好ましく、特に0.08~0.15 μ mの範囲内に設定するのが好ましい。この分離用絶縁膜45は例えば減圧下で100℃以上の温度下で、薄膜形成に用いられる材料としての H_2O 、 N_2 、 N_2O または H_2O_2 と、薄膜形成に用いられる材料としての $Al(CH_3)_3$ または $AlCl_3$ が交互に断続的に噴射されることにより、CVD法によって形成される膜でもよい。この形成方法によると複数の薄いアルミナ膜が積層されることにより、所望の厚さを有する分離用絶縁膜45が得られ、各内側導体部を互いの間隔を狭めつつ確実に絶縁することができる。

【0121】なお、保護用フォトリジスト43、絶縁層44及び分離用絶縁膜45の形成順序は次のように変更してもよい。すなわち、第1の磁極部40aを

5 パターニングし、フォトリジスト42を除去した後に、積層体の上面全体を覆うように分離用絶縁膜45を形成する。続いて、保護用フォトリジスト43、絶縁層44を順に形成し、保護用フォトリジスト43が露出するまで絶縁層44を研磨した後に保護用フォトリジスト43を除去する。こうすると、絶縁層44を研磨する前に分離用絶縁膜45が形成されているので、第1の内側導体部112、114を分離用絶縁膜45により補強した状態で絶縁層44の研磨が行われる。そのため、絶縁層44を研磨する際に第1の内側導体部112、114が損傷を受けたり、倒壊したりすることを防止することができる。

10 【0122】 次に、図14A及び図14Bに示すように、上述の分離用絶縁膜45で覆われた各内溝部に、第2の内側導体部111、113、115を以下の手順で形成する。

15 【0123】 まず、積層体の上面全体を覆うようにして、電極膜46を構成するCuよりなる第1の導電膜をスパッタ法により、例えば30～50nmの厚さで形成する。そして、第1の導電膜の上に同じく電極膜46を構成するCuよりなる第2の導電膜をCVD法により、例えば50～80nmの厚さで形成する。第2の導電膜は、各内溝部、すなわち、第2の磁極部40bと内側導体部112との間、内側導体部112と内側導体部114との間及び内側導体部114と第3の磁極部40cとの間の各内溝部全体を埋めることを目的とするのではなく、CVD法のステップカバレッジの良さを生かして内溝部を覆うことを目的として形成されている。この第1の導電膜と第2の導電膜とが電極膜46を構成する。電極膜46が後に行われるめっきにおける電極及びシード層として機能する。

20 【0124】 そして、電極膜46上にめっき法により、例えばCuよりなる導電層47を例えば4～5μmの厚さで形成する。電極膜46及び導電層47は、第2の内側導体部111、113、115を設けるために形成する。このように、本実施の形態では、CVD法によって、Cuよりなる第2の導電膜を形成し、その第2の導電膜上に、めっき法により、Cuよりなる導電層47を形成している。

このようにすると、各内溝部、すなわち、第2の磁極部40bと第1の内側導体部112との間、第1の内側導体部112と第1の内側導体部114の間及び第1の内側導体部114と第3の磁極部40cとの間に、確実に導電層47が埋め込まれる。

5 【0125】 次に、図15A及び図15Bに示すように、例えばCMPにより、第2の磁極部40b、第3の磁極部40c及び第1の内側導体部112、114が露出するまで導電層47を研磨する。この研磨により、各内溝部、すなわち第2の磁極部40bと第1の内側導体部112との間、第1の内側導体部112と第1の内側導体部114の間及び第1の内側導体部114と第3の磁極部40cとの間に残った導電層47及び電極膜46によって、第2の内側導体部111、113、115が形成される。このとき得られる第2の内側導体部111、113、115と、前述の第1の内側導体部112、114とによって、第1の導体群116が形成される。こうして得られる第2の内側導体部111、113、115は、各内溝部に埋め込まれて形成されているので、第1の内側導体部112、114に隣り合うように配置されている。しかも、第2の内側導体部111、113、115は隣り合う第1の内側導体部112、114との間に分離用絶縁膜45のみが介在している。したがって、第1の内側導体部112、114と、第2の内側導体部111、113、115とは互いに絶縁接触構造を形成している。

15 【0126】 そして、図16A及び図16Bに示すように、積層体の上面全体を覆うように、例えばアルミナよりなる絶縁膜49を例えば0.2 μ mの厚さで形成し、その絶縁膜49のうち、第2の磁極部40bに対応する部分、第3の磁極部40cに対応する部分、内側導体部111～115の各矩形状端部に対応する部分を選択的にエッチングする。

20 【0127】 次に、エッチングにより露出した第2の磁極部40bとの第3の磁極部40c上に、例えばフレームめっき法により、本発明における第2の磁極層を構成する第4の磁極部40dと第5の磁極部40eを形成し、内側導体部1

11～115の各矩形状端部の上に、下部接続層を構成する第1の接続部層をそれぞれ形成する。なお、図16Aには、各第1の接続部層のうち、内側導体部114の矩形状端部114bの上に形成された接続部層48aを示している。第4の磁極部40d、第5の磁極部40e及び第1の接続部層の材料としては、高飽和磁束密度材料、例えば、飽和磁束密度が2.1TのCoNiFeや、飽和磁束密度が2.3TのFeCo₂を用いることができる。

【0128】 次に、積層体の上面全体を覆うように、例えば、アルミナよりなる絶縁層50を2～3μmの厚さで形成する。そして、例えばCMPにより、第4の磁極部40d、第5の磁極部40e及び第1の接続部層が露出するまで、絶縁層50を研磨する。

【0129】 さらに、図17A及び図17Bに示すように、積層体の上面全体を覆うように、スパッタ法によって、磁性層51を0.7～1.0μmの厚さで形成する。磁性層51の材料としては、例えば高飽和磁束密度材料が用いられる。例えば、飽和磁束密度が2.4TのCoFeNを用いることができる。

【0130】 そして、磁性層51の上において、第4の磁極部40dに対応する部分と第5の磁極部40eに対応する部分にそれぞれエッチングマスク52a、52bを形成し、複数の第1の接続部層に対応する部分にもエッチングマスクを形成する。なお、図17Aには、複数の第1の接続部層に対応する複数のエッチングマスクのうち、接続部層48aに対応するエッチングマスク52cを示している。エッチングマスクの材料としては、例えば金属材料を用いることができる。エッチングマスクは、めっき法、特にフレイムめっき法によって形成してもよい。また、エッチングマスクの材料は、磁性層51を構成する材料とは異なる磁性材料を用いてもよい。この磁性材料は、NiFe、CoNiFeを用いることができる。エッチングマスクの厚さは例えば1～2μm程度である。

【0131】 次いで、図18A及び図18Bに示すように、上記各エッチングマスクを用いて、イオンビームエッチングまたはCl₂等のハロゲン系ガスを用

いた反応性イオンエッチング（以下「RIE」という）を行い、磁性層51のエッチングを行う。すると、エッチングマスクの下に残された磁性層51によって、第3の磁極層を構成する第6の層40f及び第7の層40gと、複数の第2の接続部層が形成される。こうして得られる第6の層40f及び第7の層40gと、
5 上述の第1の磁極部40a、第2の磁極部40b、第3の磁極部40c、第4の磁極部40d及び第5の磁極部40eとによって、第1の磁極群が形成される。

【0132】 第2の接続部層は、下部接続層を構成するもので、第1の接続部層の上に配置されている。なお、図18Aでは、各第2の接続部層のうち、第1の接続部層48aの上に配置された第2の接続部層48bが示されている。

10 【0133】 さらに、積層体の上面全体を覆うように、例えばアルミナよりなる絶縁層53を2～3 μ mの厚さで形成し、その絶縁層53を例えばCMPにより研磨する。この研磨により、エッチングマスク52a、52b、52c（他の第1の接続部層に対応する複数のエッチングマスクを含む）が除去されるとともに、第6の磁極部40f、第7の磁極部40g、第2の接続部層及び絶縁層53
15 の表面が平坦化され、絶縁層53は第6の磁極部40f、第7の磁極部40g、第2の接続部層の存在しない箇所に配置される。また、この研磨は第6の磁極部40fの厚さが0.5～0.7 μ mになるように行う。

【0134】 ここで、第6の磁極部40fのエアベアリング面Sから離れた内側の端部により、記録ヘッドのスロットハイトが与えられる。スロットハイトとは、2つの磁極層が記録ギャップ層を介して対向する部分、すなわち対向磁極部の、エアベアリング面S側の端部から反対側（内側）端部までの距離（長さ）h
20 を意味している。

【0135】 次に、積層体の上面全体を覆うように、記録ギャップ層54を形成するための被膜を形成する。この被膜の材料は、アルミナ等の絶縁材料でもよいし、Ru、NiCu、Ta、W、Cr、Al₂O₃、Si₂O₃等の非磁性金属材料でもよい。ここでは、Ruを用いる場合を想定している。そして、被膜の
25

うち、第7の磁極部40gと、複数の第2の接続部層の上に配置されている部分を選択的にエッチングすることによって、記録ギャップ層54を設ける。

5 【0136】 さらに、積層体の上面全体を覆うように、例えばスパッタ法により、第1の磁極部55aを形成するための磁性材料からなる磁性層71を形成する。この磁性層71の材料としては、例えば高飽和磁束密度材料が用いられる。この磁性層71には、例えば、飽和磁束密度が2.4TのCoFeNを用いることができる。

10 【0137】 次に、積層体の上面全体を覆うようにフォトレジスト72を塗布した上で、パターンニングを行い、フォトレジスト72を所定の領域にのみ残す。その残されたフォトレジスト72をマスクにしてエッチングを行い、フォトレジスト72に被覆されていない部分の磁性層71、記録ギャップ層54、第6の磁極部40f、及び絶縁層53をエッチングする。このエッチングにより残された磁性層71により、後に第1の磁極部55aが形成される。

15 【0138】 さらに、図19A及び図19Bに示すように、積層体の上面全体を覆うように、アルミナよりなる絶縁膜73を形成する。

【0139】 そして、図20A及び図20Bに示すように、絶縁膜73とともに、フォトレジスト72を除去するリフトオフを行い、続いて表面をCMPにより適宜研磨する。

20 【0140】 さらに、図21A及び図21Bに示すように、積層体の上面全体を覆うように、例えばスパッタ法により、第1の磁極部55aを形成するための磁性材料よりなる磁性層74を形成する。この磁性層74は、高飽和磁束密度材料で形成するのがよく、例えば飽和磁束密度が2.4TのCoFeNを用いるとよい。続いて、その磁性層74の上に例えばフレイムめっき法により、第2の磁極部55bを形成する。第2の磁極部55bも高飽和磁束密度材料で形成するのがよく、例えば飽和磁束密度が2.3TのCoNiFeを用いるのがよい。また、
25 この第2の磁極部55bは、第6の磁極部40fに対応する位置から第7の磁極

部40gに対応する位置にかけて配置されている。

5 【0141】 次に、第2の磁極部55bをエッチングマスクに用いて、イオンビームエッチングまたは200～250℃の温度での Cl_2 等のハロゲン系のガスを用いたRIEにより、磁性層74のエッチングを行う。すると、第2の磁極部55bに被覆されていて、エッチング後に残った磁性層74により、第1の磁極部55aが形成される。このようにして、第2の磁極部55bと第1の磁極部55aとにより、下部磁極層40の上に上部磁極層55が形成される。

10 【0142】 続いて、図示しないが、トラック幅規定部55A（図3参照）の周辺で開口するフォトレジストのマスクを形成し、そのフォトレジストのマスクと上部磁極層55とをマスクにして、例えばイオンビームエッチングまたはRIEにより、トラック幅規定部55Aの周辺部における記録ギャップ層54と第6の磁極部40fの一部をエッチングする。この工程により、図21Bに示すようなトリム構造が得られる。

15 【0143】 次に、積層体の上面全体を覆うように、例えばアルミナよりなる絶縁膜56を0.2～0.5 μm の厚さで形成する。続いて、絶縁膜56のうち、複数の第2の接続部層の上に存在する部分を選択的にエッチングし、さらに、フレイムめっき法により、第2の接続部層の上に、上部接続層として、第3の接続部層を例えば1～2.5 μm の厚さで形成する。第2の接続部層の上に、第3の接続部層を配置することによって、接続部群130が形成される。ここで、第3の接続部層の材料としては、例えばCuを用いることができる。図21Aには、
20 複数の第3の接続部層のうち、第2の接続部層48bの上に配置された第3の接続部層48cを示している。

25 【0144】 そして、図22A及び図22Bに示すように、積層体の上面全体を覆うように、例えばアルミナよりなる絶縁膜57を2～3 μm の厚さで形成する。次に、例えばCMPにより、複数の第3の接続部層（図22では第3の接続部層48c）が露出するまで絶縁膜57を研磨する。なお、第1、第2及び第3

の接続部層 48 a, 48 b, 48 c は、内側導体部と外側導体部とを接続する各接続部を構成する。図 2 2 A では、内側導体部 1 1 4 と後に形成される外側導体部 1 2 3 とを接続する接続部 1 3 8 が示されている。

5 【0 1 4 5】 次に、例えば上述した第 1 の内側導体部 1 1 2, 1 1 4 と同様のフレームめっき法によって、絶縁層 5 7 の上に、例えば、Cu よりなる第 1 の外側導体部 1 2 1, 1 2 2, 1 2 3 を形成する。すなわち、絶縁膜 5 7 上に、例えばスパッタ法により、導電性材料よりなる図示しない電極膜を約 5 0 ~ 8 0 n m の厚さで形成する。そして、この電極膜の上にフォトリソグラフィによって、フ
10 レームを形成する。このフレームは、薄膜コイル 1 1 0 を構成する第 1 の外側導体部 1 2 1, 1 2 2, 1 2 3 をフレームめっき法によって設けるために形成する。さらに、電極膜を用いて電気めっきを行い、例えば Cu (銅) よりなるめっき層を形成する。このめっき層及びその下の図示しない電極膜が、第 1 の外側導体部 1 2 1, 1 2 2, 1 2 3 を構成する。第 1 の外側導体部 1 2 1, 1 2 2, 1 2 3 の厚さは例えば 3. 0 ~ 3. 5 μ m である。なお、このめっき層を形成するとき
15 に、第 2 の外側導体部 1 2 4, 1 2 5 に対応する接続部 1 3 1, 1 3 2, 1 3 3 に対応する第 3 の接続部層 4 8 c 上には、図示しない第 4 の接続部層も形成される。次に、フレームを除去した後、余分な電極膜を例えばイオンビームエッチングにより除去する。なおこのとき、エアベアリング面 S から最も遠い第 1 の外側導体部 1 2 3 が、連結部 6 1 よりもエアベアリング面 S 側に位置するように形成
20 する。

【0 1 4 6】 さらに、図 2 3 A および図 2 3 B に示したとおり、第 1 の外側導体部 1 2 1, 1 2 2, 1 2 3 及び第 4 の接続部層を覆うようにフォトレジスト 7 5 を形成し、例えばイオンビームエッチングにより、第 1 の外側導体部 1 2 1, 1 2 2, 1 2 3 の周辺領域の残余領域を選択的にエッチングすると共に、フォ
25 レジスト 7 5 及び第 4 の接続部層を覆うように絶縁層 7 6 を積層する。

【0 1 4 7】 続いて、図 2 4 A および図 2 4 B に示したとおり、第 1 の外側導

体部 1 2 1, 1 2 2, 1 2 3 及び第 4 の接続部層が露出するまで、例えば CMP
によって絶縁層 7 6 を研磨する。この研磨により、互いに電氣的に絶縁された第
1 の外側導体部 1 2 1, 1 2 2, 1 2 3 の形成が完了する。すなわち、第 1 の外
側導体部 1 2 1, 1 2 2, 1 2 3 は、フォトレジスト 7 5 を介して隣接しており、
5 このフォトレジスト 7 5 により絶縁が図られている。

【0 1 4 8】 そして、図 2 5 A および図 2 5 B に示したとおり、積層体の上面
全体を覆うように、例えば、アルミナよりなる絶縁層 7 7 を例えば $0.2\ \mu\text{m}$ の
厚さで形成し、その絶縁層 7 7 のうち、第 4 の接続部層に対応する部分を選択的
にエッチングする。そして、絶縁層 7 7 上の所定位置に、例えば上述した第 1 の
10 外側導体部 1 2 1, 1 2 2, 1 2 3 と同様のフレームめっき法によって、絶縁層
7 7 上に、例えば、Cu よりなる第 2 の外側導体部 1 2 4, 1 2 5 を形成する。
より具体的には、絶縁層 7 7 上であって、第 1 の外側導体部 1 2 1 と第 1 の外側
導体部 1 2 2 との略中間位置に対応する位置に第 2 の外側導体部 1 2 4 を、第 1
の外側導体部 1 2 2 と第 1 の外側導体部 1 2 3 との略中間位置に対応する位置に
15 第 1 の外側導体部 1 2 5 を形成する。なお、エアベアリング面 S から最も遠い第
2 の外側導体部 1 2 5 は、連結部 6 1 よりもエアベアリング面 S 側に位置するよ
うに形成される。さらに、第 2 の外側導体部 1 2 4, 1 2 5 を覆うようにフォト
レジスト 7 8 を形成し、例えばイオンビームエッチングにより、第 2 の外側導体
部 1 2 4, 1 2 5 の周辺領域の残余領域を選択的にエッチングする。

【0 1 4 9】 なお、このめっき層を形成するときに、各矩形状端部も形成され
ている。そして、フレームを除去した後、電極膜について、第 2 の外側導体部 1
2 4, 1 2 5 (それぞれの矩形状端部を含む) の下に存在する部分を残し、その
他の部分を例えばイオンビームエッチングにより除去する。ここで第 2 の外側導
20 体部 1 2 4, 1 2 5 の端部 1 2 4 b, 1 2 5 a, 1 2 5 b は、接続部 1 3 1, 1
3 2, 1 3 3 に対応する第 4 の接続部層上に位置しており、第 2 の外側導体部 1
2 4, 1 2 5 と、これらに対応する接続部 1 3 1, 1 3 2, 1 3 3 とが電氣的に

つながっている。

【0150】 そして、図7A及び図7Bに示すように、積層体の上面全体を覆うように、例えばアルミナよりなるオーバコート層26を20～40 μ mの厚さで形成してその表面を平坦化する。続いて、図示しない電極パッドを形成する。
5 最後に、上記各層を含むスライダの研磨加工を行ってエアベアリング面Sを形成する。以上の工程により、第1の導体群116、第2の導体群120及び接続部群130とによって、薄膜コイル110が形成され、薄膜磁気ヘッド16が得られる。

【0151】 以下、上述した薄膜磁気ヘッド16の構造における変形例について説明する。
10

(変形例)

【0152】 変形例における薄膜磁気ヘッド16Aは、上述した薄膜磁気ヘッド16Aと、薄膜コイルの構成が相違し、他は共通である。そのため、以下の説明はその相違点について行い、共通点についての説明は省略ないし簡略化する。ここで、図26は変形例に係る薄膜コイル110Aのうち、第1の導体群116及び各接続部を示す平面図である。また、図27は変形例に係る薄膜コイル110Aの第2の導体群120のうち、第1の外側導体部171、172、173、174を示す平面図であり、図28は第2の導体群120のうち、第2の外側導体部175、176、177を示す平面図である。さらに図29は、図26の β - β 線断面図である。
15
20

【0153】 図26～図29に示すように、変形例における薄膜コイル110Aは、第1の導体群116、第2の導体群120及び接続部群130を有しているが、上述の薄膜コイル110とは異なり一連の7ターンループを形成している。すなわち、第1の導体群116が複数の内側導体部161、162、163、164、165、166、167を有し、第2の導体群120が複数の外側導体部171、172、173、174、175、176、177を有し、接続部群1
25

30が複数の接続部181, 182, 183, 184, 185, 186, 187, 188, 189, 190, 191, 192, 193, 194を有しており、これらによって、薄膜コイルが全体で7ターンの螺旋状ループを形成している。そして、この変形例の薄膜コイルにおいても、第2の導体群120は二段構成となっており、第2の導体群120は下段の第1の外側導体部171, 172, 173, 174と、上段の第2の外側導体部175, 176, 177とを有している。その他の点は上述の薄膜コイル110と同じであるから、詳しい説明を省略する。

【0154】 この薄膜コイルにおいても、第2の導体群（外側導体部）120が第1の外側導体部171, 172, 173, 174と第2の外側導体部175, 176, 177の二段構成となっているため、薄膜コイルのターン数が同じであり外側導体部が一段である従来の磁気ヘッドに比べて、第2の導体群120全体の幅W3（図29A参照）を縮小することができる。従って、この磁気ヘッド16によれば、記録用に用いられる磁束を保持したまま、ヨーク長を有意に短縮することで可能であり、より高い周波数に対応することができる。

【0155】 以上で詳細に説明したように、本発明の実施形態に係る磁気ヘッド16はヨーク長が有意に短縮されており、それにより高周波帯域における記録特性が向上している。なお、この磁気ヘッド16が採用されたヘッドジンバルアセンブリ12及びハードディスク装置10においても、高周波帯域における記録特性が向上していることは言うまでもないことである。

【第2の実施形態】

【0156】 本発明の第2の実施形態に係る薄膜磁気ヘッドの製造方法を、図30～図32を参照しつつ説明する。

【0157】 本実施形態における製造方法では、図11A及び図11Bに示すように、フォトリジスト42をマスクにして、第1の磁極部40aのパターニングを行うまでの工程は、上述した第1の実施形態に係る製造方法と同様である。本実施の形態において相違するのはこれ以降の工程である。以下では、上述した

第1の実施形態に係る製造方法と相違する点を中心に行い、共通点については説明を省略ないし簡略化する。

【0158】 そして、図11A及び図11Bに示した工程に続いて、図30A及び図30Bに示すように、例えばCVD法により、積層体の上面全体を覆うように、例えばアルミナよりなる分離用絶縁膜81を形成する。これにより、第2の磁極部40bと内側導体部112との間、内側導体部112と内側導体部114の間及び内側導体部114と第3の磁極部40cとの間に、分離用絶縁膜81で覆われた内溝部が複数形成される。なお、分離用絶縁膜81の厚さは絶縁膜41の厚さ以下である。よって、分離用絶縁膜81の厚さは0.2 μ m以下とするのが好ましく、特に0.08~0.15 μ mの範囲内に設定するのが好ましい。分離用絶縁膜81は上述の分離用絶縁膜45と同様の方法により形成される。

【0159】 次に、積層体の上面全体を覆うように、スパッタ法により、電極膜82を以下の手順で形成する。まず、Cuよりなる第1の導電膜をスパッタ法により、例えば30~50nmの厚さで形成する。さらに、第1の導電膜の上にCuよりなる第2の導電膜をCVD法により、例えば50~80nmの厚さで形成する。第2の導電膜は各内溝部、すなわち、第2の磁極部40bと内側導体部112との間、内側導体部112と内側導体部114との間及び内側導体部114と第3の磁極部40cとの間の各内溝部全体を埋めることを目的とするのではなく、CVD法のステップカバレッジの良さを生かして内溝部を覆うことを目的として形成されている。この第1の導電膜と第2の導電膜とによって電極膜82が形成される。電極膜82は、後に行われるめっきにおける電極及びシード層として機能する。

【0160】 そして、電極膜82上に、めっき法により、例えばCuよりなる導電層83を例えば4~5 μ mの厚さで形成する。導電層83は、第2の内側導体部111, 113, 115を設けるためのものであり、第2の内側導体部111, 113, 115を配置すべき領域に形成する。

【0161】 次に、図31A及び図31Bに示すように、導電層83をマスクにして、電極膜82のうちの、導電層83の下に存在する部分以外の部分を除去する。この電極膜82の除去は、例えばイオンビームの進行方向が第1の磁極部40aの上面に垂直な方向に対してなす角度が45°～75°の範囲内となるイオンビームエッチングによって行ってもよい。あるいは、段差を有する面の上に形成された電極膜82を完全に除去することができるように、電極膜82の除去は、希塩酸や希硫酸、または希硝酸を用いたウェットエッチング、あるいは硫酸銅液を用いた電解エッチングによって行ってもよい。

【0162】 そして、積層体の上面全体を覆うようにして、例えば、アルミナよりなる絶縁膜84を例えば4～6μmの厚さで形成する。さらに、図32A及び図32Bに示すように、例えばCMPにより、第2の磁極部40b、第3の磁極部40c及び第1の内側導体部112、114が露出するまで絶縁膜84を研磨する。この研磨により、第2の磁極部40bと第1の内側導体部112との間、第1の内側導体部112と第1の内側導体部114の間及び第1の内側導体部114と第3の磁極部40cとの間に、導電層83及び電極膜82が埋め込まれるようにして、第2の内側導体部111、113、115が形成される。このとき得られる第2の内側導体部111、113、115と、既に形成されている第1の内側導体部112、114とによって、第1の導体群116が形成される。こうして得られる第2の内側導体部111、113、115は、各内溝部に埋め込まれているので、第1の内側導体部112、114に隣り合うように配置されている。しかも、第2の内側導体部111、113、115は隣り合う第1の内側導体部112、114との間に分離用絶縁膜81のみが介在しているから、第1の内側導体部112、114と第2の内側導体部111、113、115とは、互いに絶縁接触構造を形成している。これまでの工程で、上述の製造方法と同様の状態（図15A及び図15B参照）が得られる。そして、これ以降、上述した第1の実施形態に係る製造方法と同様の製造方法を用いて薄膜磁気ヘッドが作製

される。

【0163】 以上のようにして作製される、本実施形態に係る薄膜磁気ヘッドは、第1の実施形態に係る薄膜磁気ヘッド16と同じ構造を有している。したがって、本実施形態に係る薄膜磁気ヘッドも、第1の実施の形態に係る薄膜磁気ヘッド16と同じ作用効果を奏する。

(その他の変形例)

【0164】 本発明は、上記の各実施の形態に限定されるものではなく、適宜変更することが可能である。例えば、薄膜コイル110は5ターンまたは7ターンに設定したが、薄膜コイルのターン数はこれら以外にも適宜選択可能である。

【0165】 また、少なくとも第1の導体群までを製造した半製品（薄膜磁気ヘッド用基礎構造物）を用いて、所望のターン数の薄膜コイルを製造することもできる。その場合は、各接続部の形状と外側導体部の数の両方を変更することによって、薄膜コイルのターン数を選択するようにしてもよい。

【0166】 さらに、本発明は、誘導型電磁変換素子のみを有する記録専用のヘッドにも適用することができ、誘導型電磁変換素子によって記録と再生を行う薄膜磁気ヘッドにも適用することができる。

【0167】 一方、上述した各実施形態では、薄膜磁気ヘッドとして上部磁極層と下部磁極層とを有する長手記録ヘッドを例にとって説明したが、本発明は長手記録ヘッドには限られない。本発明は、主磁極層と補助磁極層とを備える垂直記録ヘッドについても適用できる。

【0168】 以上の説明に基づき、本発明の種々の態様や変形例を実施可能であることは明らかである。したがって、以下の請求の範囲と均等の範囲において、上記最良の形態以外でも本発明を実施することが可能である。

請求の範囲

1. 記録媒体に対向する媒体対向面側においてギャップ層を介して互いに対向する磁極部分を有する第1及び第2の磁極層と、

前記第1の磁極層と前記第2の磁極層とを磁気的に連結する連結部と、

5 前記第1及び第2の磁極層に対して絶縁された状態で、前記第1及び第2の磁極層の少なくとも一方の回りに螺旋状に巻回された薄膜コイルとを備え、

前記薄膜コイルは、

前記第1の磁極層と前記第2の磁極層との間であって前記連結部よりも前記媒体対向面側に位置すると共に、前記第1又は第2の磁極層と交差する方向に延在し、絶縁膜を介して並列する複数の内側導体部と、

10 前記内側導体部の延在方向に沿って延在し、前記第1又は第2の磁極層における前記内側導体部が位置する側と反対側に位置する複数の第1の外側導体部と、

前記内側導体部の延在方向に沿って延在し、前記第1の外側導体部における前記内側導体部が位置する側と反対側に位置する第2の外側導体部と、

15 対応する前記内側導体部と前記第1及び第2の外側導体部とを接続する複数の接続部とを有する、磁気ヘッド。

2. 前記第1及び第2の外側導体部は、前記連結部よりも前記媒体対向面側に位置している、請求項1に記載の磁気ヘッド。

3. 前記連結部の形状は、前記媒体対向面側に突出する断面形状を有する柱状であり、

20 前記内側導体部の幅は、前記連結部の突出部分の先端から前記媒体対向面の法線方向に沿って該媒体対向面の方向に延びる仮想線上において最小であり、且つ前記仮想線から離れるに従って増大する、請求項2に記載の磁気ヘッド。

4. 前記複数の内側導体部のうちの隣り合う内側導体部の間隔は、前記絶縁膜の厚さと略同一である、請求項1～3のいずれか一項に記載の磁気ヘッド。

25 5. 前記複数の第1の外側導体部のうちの隣り合う外側導体部の間隔は、前

記複数の内側導体部のうちの隣り合う内側導体部の間隔よりも広い、請求項 1 ～ 4 のいずれか一項に記載の磁気ヘッド。

6. 前記第 1 の外側導体部の最小の幅は、前記内側導体部の最小の幅よりも大きい、請求項 1 ～ 5 のいずれか一項に記載の磁気ヘッド。

5 7. 前記接続部の形状は四角形断面を有する柱状であり、前記複数の接続部のうちの隣り合う接続部は前記四角形断面の対角線方向に沿う方向に並んでいる、請求項 1 ～ 6 のいずれか一項に記載の磁気ヘッド。

8. 基台と、前記基台上に形成された磁気ヘッドと、前記基台を固定するジンバルと、前記ジンバルが接続されたロードビームとを備え、

10 前記磁気ヘッドは、媒体対向面側においてギャップ層を介して互いに対向する磁極部分を有する第 1 及び第 2 の磁極層と、前記第 1 の磁極層と前記第 2 の磁極層とを磁氣的に連結する連結部と、前記第 1 及び第 2 の磁極層に対して絶縁された状態で、前記第 1 及び第 2 の磁極層の少なくとも一方の回りに螺旋状に巻回された薄膜コイルとを有し、

15 前記薄膜コイルは、

前記第 1 の磁極層と前記第 2 の磁極層との間であって前記連結部よりも前記媒体対向面側に位置すると共に、前記第 1 又は第 2 の磁極層と交差する方向に延在し、絶縁膜を介して並列する複数の内側導体部と、

20 前記内側導体部の延在方向に沿って延在し、前記第 1 又は第 2 の磁極層における前記内側導体部が位置する側と反対側に位置する第 1 の外側導体部と、

前記内側導体部の延在方向に沿って延在し、前記第 1 の外側導体部における前記内側導体部が位置する側と反対側に位置する第 2 の外側導体部と、

対応する前記内側導体部と前記第 1 及び第 2 の外側導体部とを接続する複数の接続部とを含む、ヘッドジンバルアセンブリ。

25 9. 基台と、前記基台上に形成された磁気ヘッドと、前記磁気ヘッドと対向する記録媒体とを備え、

前記磁気ヘッドは、媒体対向面側においてギャップ層を介して互いに対向する磁極部分を有する第1及び第2の磁極層と、前記第1の磁極層と前記第2の磁極層とを磁氣的に連結する連結部と、前記第1及び第2の磁極層に対して絶縁された状態で、前記第1及び第2の磁極層の少なくとも一方の回りに螺旋状に巻回された薄膜コイルとを有し、

前記薄膜コイルは、

前記第1の磁極層と前記第2の磁極層との間であって前記連結部よりも前記媒体対向面側に位置すると共に、前記第1又は第2の磁極層と交差する方向に延在し、絶縁膜を介して並列する複数の内側導体部と、

前記内側導体部の延在方向に沿って延在し、前記第1又は第2の磁極層における前記内側導体部が位置する側と反対側に位置する第1の外側導体部と、

前記内側導体部の延在方向に沿って延在し、前記第1の外側導体部における前記内側導体部が位置する側と反対側に位置する第2の外側導体部と、

対応する前記内側導体部と前記第1及び第2の外側導体部とを接続する複数の接続部とを含む、ハードディスク装置。

10. 媒体対向面側においてギャップ層を介して互いに対向する磁極部分を有する第1及び第2の磁極層と、前記第1の磁極層と前記第2の磁極層とを磁氣的に連結する連結部と、前記第1及び第2の磁極層に対して絶縁された状態で、前記第1及び第2の磁極層の少なくとも一方の回りに螺旋状に巻回された薄膜コイルとを備える磁気ヘッドの作製に適用され、

前記第1の磁極層を形成するステップと、

前記第1の磁極層上に前記ギャップ層を形成するステップと、

前記ギャップ層上に前記第2の磁極層を形成するステップと、

前記連結部を形成するステップと、

前記薄膜コイルを形成するステップとを備え、

前記薄膜コイルを形成するステップには、

前記薄膜コイルを構成する、前記第 1 の磁極層と前記第 2 の磁極層との間であ
って前記連結部よりも前記媒体対向面側に位置すると共に、前記第 1 又は第 2 の
磁極層と交差する方向に延在し、絶縁膜を介して並列する複数の内側導体部と、

5 前記内側導体部の延在方向に沿って延在し、前記第 1 又は第 2 の磁極層におけ
る前記内側導体部が位置する側と反対側に位置する第 1 の外側導体部と、

前記内側導体部の延在方向に沿って延在し、前記第 1 の外側導体部における前
記内側導体部が位置する側と反対側に位置する第 2 の外側導体部と、

対応する前記内側導体部と前記第 1 及び第 2 の外側導体部とを接続する複数の
接続部と、を形成する各ステップが含まれている、磁気ヘッドの製造方法。

10 1 1. 前記第 1 及び第 2 の外側導体部が前記連結部よりも前記媒体対向面側
に位置する、請求項 1 0 に記載の磁気ヘッドの製造方法。

開示内容の要約

- 5 本発明に係る磁気ヘッドは、第1及び第2の磁極層と、第1の磁極層と第2の磁極層とを磁氣的に連結する連結部と、第1及び第2の磁極層の少なくとも一方の回りに螺旋状に巻回された薄膜コイルとを備える。薄膜コイルは、絶縁膜を介して並列する複数の内側導体部と、第1又は第2の磁極層における内側導体部が位置する側と反対側に位置する複数の第1の外側導体部と、第1の外側導体部における内側導体部が位置する側と反対側に位置する第2の外側導体部と、対応する内側導体部と第1及び第2の外側導体部とを接続する複数の接続部とを有する。